

Projection exposure apparatus

Requested Patent: JP7230945
Publication date: 1995-08-29
Inventor(s): SHIRAISHI NAOMASA (JP)
Applicant(s): NIPPON KOGAKU KK (JP)
Application Number: JP19940020190
Int. Classification: H01L21/027
G03B27/32
G03F7/20

Abstract

A projection exposure apparatus having an illuminating optical system for irradiating a mask having a pattern with illuminating light for exposure, and a projection optical system which is composed of a plurality of optical elements and arranged to take in light emanating from the pattern of the mask and to project an image of the pattern on a photosensitive substrate with predetermined image-forming characteristics. The projection exposure apparatus is provided with a movable retaining member for causing at least one of a plurality of lens elements constituting the projection optical system to move relative to the entire projection optical system in accordance with exchange, loading or unloading of an optical corrector plate, e.g., a pupil filter, which is disposed on a Fourier transform plane of the projection optical system.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-230945

(43) 公開日 平成7年(1995)8月29日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 B 27/32	F			
G 0 3 F 7/20	5 2 1	7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	5 1 5 D
		7352-4M		5 2 7
審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 10 頁)				

(21) 出願番号 特願平6-20190

(22) 出願日 平成6年(1994)2月17日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 白石 直正

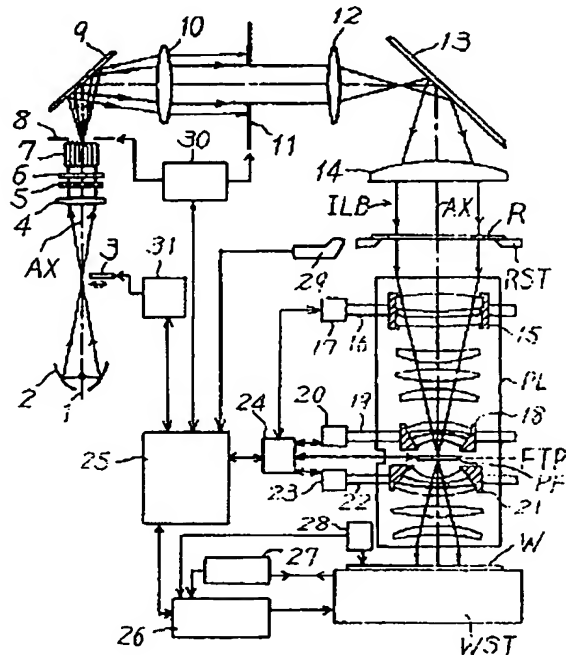
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 瞳フィルターを交換、又は挿脱しても投影光学系の結像特性を高精度に維持可能とする。

【構成】 投影光学系P.L.の瞳面FTPに配置される瞳フィルターP.F.の交換、又は挿脱に伴って、投影光学系P.L.を構成する複数のレンズ素子のうちの少なくとも一部を、投影光学系P.L.に対して移動せしめる可動保持部材(15、18、21)を設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 微細なパターンが形成されたマスクを露光用の照明光で照射する照明手段と、前記マスクのパターンから発生した光を入射して前記パターンの像を感光基板上に所定の結像特性で投影する投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記投影光学系内の瞳面、又はその近傍面に、互いに光学的な作用が異なる複数の光学フィルターのうちのいずれか1つを交換可能に配置する交換手段と；前記複数の光学フィルターの交換に応じて、前記投影光学系を構成する複数の光学要素のうちの少なくとも一部を、前記投影光学系全体に対して移動せしめる光学要素移動部材とを備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記複数の光学フィルターのうちのいずれか1つは、前記投影光学系中の瞳面内の位置に応じて、透過光の透過率、又は位相の少なくとも一方を変化させる光学フィルターであることを特徴とする請求項第1項に記載の投影露光装置。

【請求項3】 前記複数の光学フィルターのうちのいずれか1つは、前記投影光学系中の瞳面内の特定の領域を透過する透過光と、それ以外の領域を透過する透過光との間の干渉性を低減する光学フィルターであることを特徴とする請求項第1項、又は第2項に記載の投影露光装置。

【請求項4】 前記複数の光学フィルターのうちのいずれか1つは、前記投影光学系中の瞳面を透過する透過光の透過率、位相、あるいは干渉性に関して全く変化を与えない光学フィルターであることを特徴とする請求項第1項に記載の投影露光装置。

【請求項5】 マスクのパターンを感光基板上に所定の結像特性で投影する投影光学系と、該投影光学系の結像光路中に形成されるフーリエ変換面、もしくはその近傍面に配置されて、結像光束の光学的な特質を変化させることで前記結像特性のうちの特定の諸元を改善する光学補正板とを備えた投影露光装置において、前記光学補正板を前記投影光学系内の結像光路中に挿脱可能に移動させる第1の可動部材と；前記光学補正板の挿脱によって前記結像特性のうちの前記特定の諸元以外の他の諸元が変化することを補正するために、前記投影光学系を構成する複数の光学素子のうち予め選ばれた一部の光学素子を移動させる第2の可動部材とを備えたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項6】 前記投影光学系は、前記光学補正板が結像光路中から離脱した状態のとき、又は前記光学補正板が結像光路中に挿入された状態のときに、前記結像特性の他の諸元が最も良好になるように構成され、前記光学補正板を結像光路中に挿入したとき、又は離脱させたとき、前記一部の光学素子を所定量だけ移動させるように、前記第1の可動部材と第2の可動部材とを関連付けて駆動する手段を備えたことを特徴とする請求項第5項

に記載の投影露光装置。

【請求項7】 前記結像特性のうちの特定の諸元は像深度であり、他の諸元は像収差であることを特徴とする請求項第5項、又は第6項に記載の投影露光装置。

【請求項8】 前記光学補正板は、前記投影光学系のフーリエ変換面の実質的な半径 r_0 以上の大きさの光透過性円板によって構成され、該光透過性円板は前記フーリエ変換面に分布する結像光束の光学的特質を径方向に連続的、又は段階的に変化させることを特徴とする請求項第7項に記載の投影露光装置。

【請求項9】 前記光透過性円板は、中心部の半径 r_1 の円形領域の透過率を、内径 r_1 、外径 r_0 の輪帯領域の透過率に対して低減、又は零にする光減衰特性を有し、該半径 r_1 と半径 r_0 との関係を、 $0.3r_1 \leq r_1 \leq 0.7r_0$ に設定したことを特徴とする請求項第8項に記載の投影露光装置。

【請求項10】 前記光透過性円板は、半径 r_0 の中心円形領域と、内径 r_1 、外径 r_2 の内側輪帯領域と、内径 r_2 、外径 r_0 の外側輪帯領域との3つの領域を有し、前記フーリエ変換面に分布する結像光束のうち、少なくとも前記内側輪帯領域を通る光束と外側輪帯領域を通る光束との間の干渉性を消失させる光学材料で構成され、半径 r_0 、 r_1 、 r_2 の関係を、 $r_1^2 + r_2^2 = r_0^2$ に設定したことを特徴とする請求項第8項に記載の投影露光装置。

【請求項11】 前記光透過性円板の中心円形領域を減光材料で構成したことを特徴とする請求項第10項に記載の投影露光装置。

【請求項12】 前記光透過性円板は、さらに前記中心円形領域を通る光束と前記内側輪帯領域を通る光束との間の干渉性を消失させる光学材料で構成されていることを特徴とする請求項第10項に記載の投影露光装置。

【請求項13】 前記光透過性円板は、前記フーリエ変換面に分布する結像光束に対する振幅透過率を径方向に連続的、又は離散的に異ならせる光学的位相材料で構成されていることを特徴とする請求項第8項に記載の投影露光装置。

【請求項14】 前記投影光学系は、前記マスクと前記フーリエ変換面との間に光軸に沿って配置された複数のレンズ素子と前記フーリエ変換面と前記感光基板との間に光軸に沿って配置された複数のレンズ素子とで構成され、前記第2の可動部材は前記投影光学系内のフーリエ変換面の近くに位置した1つ以上のレンズ素子を光軸方向に微小移動させることを特徴とする請求項第8項に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体集積回路、液晶ディスプレイ等の微細パターンの形成に用いる投影型露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】この種の投影型露光装置に使われている投影光学系は、高度な光学設計、硝材の厳選、硝材の精密加工、及び精密な組立て調整をへて装置内に組み込まれる。現在、半導体製造工程では水銀ランプの1線（波長365nm）を照明光としてレチクル（マスク）を照射し、そのレチクル上の回路パターン透過光を投影光学系を介して感光基板（ウェハ等）上に結像するステッパーが主に使われている。また評価用、あるいは研究用としてエキシマレーザ（波長248nmのKrFレーザ）を照明光とするエキシマステッパーも使われている。

【0003】一般に、投影光学系を用いた露光によって微細なレチクルパターンを感光基板へ忠実に転写するためには、投影光学系の解像力と焦点深度（DOF：デプスオブフォーカス）とが重要なファクタとなっている。現在実用化されている投影光学系のうち、1線用のもので開口数（NA）として0.6程度のものが得られている。一般に、使用する照明光の波長が同じであるとき、投影光学系の開口数を大きくすると、それに伴って解像力も向上する。しかしながら、焦点深度（DOF）は開口数NAの増大に伴って減少する。焦点深度は照明光の波長を λ としたとき、ほぼ $DOF \propto \lambda / (2 \times NA^2)$ となる。

【0004】ところで解像力を高めるためには、投影光学系の像側の開口数NAw（物体側の開口数NAr）を大きくする訳であるが、このことは換言すれば瞳の径を大きくすること、さらに投影光学系を構成するレンズ等の光学素子の有効径を大きくすることに他ならない。ところが、焦点深度DOFの方は開口数NAwの2乗に反比例して減少してしまうため、例えば高開口数の投影光学系が製造できたとしても、必要な焦点深度が得られないことになり、実用上の大きな障害となる。

【0005】照明光の波長を λ 線の365nmとし、開口数NAwを0.6とすると、焦点深度DOFは幅で約 $1\mu m$ （ $\approx 0.5\mu m$ ）になってしまい、ウェハ上の1つのショット領域（20mm角 \sim 30mm角程度）内で表面の凹凸や湾曲が焦点深度DOF以上の部分については解像不良を起こすことになる。このような問題に対して、特公昭62-50811号公報に開示されているような位相シフト法や、特開平4-101148号公報、特開平4-180612号公報、あるいは特開平4-180613号公報等に開示されたSHRINC法（変形光源法）等のいわゆる超解像技術が提案されている。しかしながら、これらの技術は、転写する回路パターンが比較的密度が高い周期的なパターンであるときに、解像度の向上及び焦点深度の増大といった利点が効果的に得られ、コンタクトホールパターンと呼ばれるような離散的（孤立的）なパターンに対しては、ほとんど効果が得られないのが現状である。

【0006】そこで、コンタクトホール等の孤立パターンに対して見かけ上の焦点深度を拡大させる露光方法として、ウェハ上の1つのショット領域に対する露光を複数回に分け、各露光の間にウェハを投影光学系の光軸方向に一定量だけ移動させる方法が、例えば特開昭63-42122号公報で提案された。この露光方法はFLEX（Focus Latitude enhancement EXposure）法と呼ばれ、コンタクトホール等の孤立パターンに対しては十分な焦点深度拡大効果を得ることができる。ただしFLEX法は、わずかにデフォーカスしたコンタクトホール像を多重露光することを必須とするため、現像後に得られるレジスト像は必然的に鮮鋭度（レジスト層のエッジの立上がり）が低下了るものとなる。

【0007】また、FLEX法のように露光動作中にウェハを光軸方向に移動させなくても、コンタクトホールパターンの投影時の焦点深度を拡大する試みとして、1991年春季応用物理学会の予稿集29a-ZC-8、9で発表されたSuper FLEX法も知られている。このSuper FLEX法は、投影光学系の瞳面（すなわちレチクルに対するフーリエ変換面）に、光軸を中心とする同心円的な振幅透過率分布を有する位相フィルターを設け、このフィルターの作用により、投影光学系の実効的な解像度、及び焦点深度を増大するものである。

【0008】尚、上記のSuper FLEX法の如く投影光学系の瞳面でのフィルタリングにより透過率分布や位相差を変化させ焦点深度を向上する方法は、多重焦点フィルター法として一般に知られている。多重焦点フィルターについては、昭和36年1月23日付で発行された機械試験所報告第40号の「光学系における結像性能とその改良方法に関する研究」と題する論文の第41頁～第55頁に詳しく述べられている。また、瞳面でのフィルタリング（spatial filtering）により像質を改善する方法は、一般に瞳フィルター法と呼ばれている。

【0009】その瞳フィルター法の新しいタイプとして、本願出願人は光軸近傍の円形領域のみを遮光する型のフィルター（以後、遮光型フィルターと呼ぶ）を特開平4-179958号公報において提案した。さらに本願出願人は、瞳面を透過するコンタクトホールパターンからの結像光束の空間的コヒーレンスを低減させるSFINC法と名付けられた瞳フィルターを、先に特開平4-263521号、特開平4-271723号で提案している。

【0010】以上のコンタクトホールパターン用の遮光型フィルターとは別に、ラインアンドスペース（L&S）パターン等の比較的密集した周期性パターンに対して効果的な瞳フィルターも、1991年の秋季応用物理学会の予稿集中の「斜入射照明を用いた投影露光法1」（京理・松尾他：12a-ZD-7）、及び1992年の春季

応用物理学会の予稿集中の「輪帯照明と瞳フィルターの最適化」(山中他: 30 p-NA-5)等で報告されている。これらのフィルターは光軸を中心とする円形領域、又は輪帯領域の透過率(透過光量)を下げる方式(以後、L&Sパターン用フィルターとする)であり、Super FLEX法と異なり、フィルターの透過光の位相は変えないものとなっている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上で述べた各種瞳フィルター法の中で、Super FLEX法や遮光型フィルター、及びSFINCS法では、露光転写すべき微細パターンの中の、孤立的なコンタクトホールパターンに対して解像度や焦点深度の増大効果を得ることができる。しかしながら、L&Sパターン等の比較的密集したパターンに対しては逆に解像度等が低下するため、このようなパターンの露光時には、投影光学系から瞳フィルターを退出するか、あるいは瞳フィルターを、上記のL&Sパターン用のものと交換することが望ましい。

【0012】しかしながら、先に述べた通り、良好な投影像を得るために投影光学系は、高度な設計、製造、そして厳密な調整が一体となって完成されるものである。従って、このような投影光学系に対して、光学的に特性を変化せしめる瞳フィルターを単に装填、退出、あるいは交換するのみでは、その後の結像特性を良好に保つことができないという問題がある。

【0013】勿論、コンタクトホールパターンなどの特定のパターンのみに限定して使用することを前提とした露光装置であれば、始めから特定の瞳フィルターを組み込んで調整を行えば良いが、半導体等の生産ラインにおいては、生産効率を高めるために、1台の露光装置を各種の工程の(パターンの)露光転写に使用しているのが現状である。

【0014】そこで本発明は、コンタクトホール等の孤立したパターンの投影露光に好適な瞳フィルターや、L&Sパターン等の密集したパターンの投影露光に好適な瞳フィルターを、装填、退出、あるいは交換した場合にも、常に良好な結像特性を保ち続ける露光装置を提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的の為に本発明では、微細なパターンが形成されたマスク(レチクルR)を露光用の照明光で照射する照明手段(1~14)と、マスクのパターンから発生した光を入射してパターンの像を感光基板(ウェハW)上に結像投影する投影光学系PLとを備えた投影露光装置において、投影光学系内のマスクに対する光学的フーリエ変換面(円形の瞳面DTP)上、又はその近傍面に、相互に交換して配置される複数の瞳フィルター(PF1~PF3)を設けた。そして、これら複数の瞳フィルターを相互に交換する交換手段(41、42、43)と、瞳フィルターの交換に

同期して、投影光学系を構成する複数の光学要素のうち少なくとも一部(レンズ50~53)を、投影光学系に対して移動せしめる光学要素移動部材(15、18、21; 60~70)とを備えるものとした。

【0016】また、複数の瞳フィルターの中のいずれか1つは、瞳面内の位置に応じて、透過光の透過率、又は位相(振幅透過率)の少なくとも一方を変化させる型式、すなわち前述のSuper FLEX型の瞳フィルター、又はL&Sパターン用瞳フィルターであるものとした。また、複数の瞳フィルターの中のいずれか1つは、瞳面内の特定の領域を透過する透過光と、それ以外の領域を透過する透過光との間の干渉性を低減する型式、すなわち前述のSFINCS型の瞳フィルターであるものとした。

【0017】また、複数の瞳フィルターの中のいずれか1つは、瞳面透過光の透過率、位相、及び干渉性に、全く変化を与えない型式の瞳フィルターであり、すなわち瞳フィルターのない通常の状態(ただし、単なる平行平板状の硝材を挿入してもよい)と等価であるような瞳フィルターであるとした。

【0018】

【作用】本発明による投影露光装置に於ては、投影光学系の構成要素のうち少なくとも一部を、投影光学系に対して移動せしめる光学要素移動部材を設けたので、瞳フィルターの装填、退出、あるいは交換によって生じる結像特性の変動を、これらの光学要素移動部材の移動によって補正することができ、常に良好な結像特性を得ることができる。

【0019】

【実施例】図1は本発明の実施例を示し、レチクルRの下面(投影光学系PL側)のパターン面には転写すべきパターンが描画されており、このパターンを投影光学系PLを介してウェハW等の被露光基板上に投影し、露光転写するものである。レチクルRを照明する照明光束LBは、水銀ランプ1等の光源より発生し、楕円鏡2、インプットレンズ4、短波長カットフィルター5、及び干渉フィルター6により、例えば1線(波長0.365 μm)のみが選択され、フライアイレンズ7に入射する。尚、本発明による露光装置で使用する光源は、水銀ランプ等の輝線ランプに限定されるものではなく、例えばレーザー光源等からのビームをコリメートしてフライアイレンズ7に入射させてもよい。

【0020】フライアイレンズ7の射出側面は、レチクルパターンに対する照明光学系中のフーリエ変換面となっており、ここには面光源像(フライアイレンズ7の各エレメントレンズの夫々に対応した複数の点光源の集合面)が形成されるとともに、その面光源像の形状や大きさを規定する σ 絞り8が設けられる。フライアイレンズ7を射出し、 σ 絞り8を透過した照明光は、ミラー9、13、レンズ系10、12、及びコンデンサーレンズ1

4を経て、レチクルRを照明する。このとき可変照明視野絞り（レチクルブラインド）11は、レンズ系12とコンデンサーレンズ14の作用によってレチクルRのパターン面と共役になっており、レチクルRへの照明範囲を可変とすることができる。またレンズ系10は、 σ 絞り8（面光源像）がレチクルブラインド11、又はレチクルRのパターン面に対するフーリエ変換面となるように設定する。

【0021】レチクルRを透過、回折した光束は投影光学系PLにより結像され、ウェハW上にレチクルRのパターンの像を形成する。尚、図1においてレチクルRからウェハWまでの破線は、レチクルR上のホールパターンからの結像光束の光路を示したものである。本実施例においては、投影光学系PL中の瞳面FTP、すなわちレチクルRに対する光学的フーリエ変換面は中空に位置するように設計され、その瞳面FTP、又はその近傍面には、選択された1つの瞳フィルターPFが設けられるが、これについては後述する。尚、図1の系では投影光学系PL中の瞳面FTPが幾何光学的に σ 絞り8によって規定される面光源像の位置と共役になったケーラー照明法が適用されているが、必ずしもケーラー照明法である必要はない。

【0022】さて、投影光学系PLは多数枚のレンズ系より構成されているが、これらのうちの一部は可動保持部材15、18、21によって保持されており、それぞれ支持金物16、19、22を介して駆動機構17、20、23に結合され、投影光学系全体に対して可動となっている。これらの光学要素移動部材（可動保持部材、支持金物、駆動機構）の制御は光学系コントローラ24によって行われる。光学要素移動部材による可動レンズ系の移動は、主に投影光学系PLの光軸AX方向について行われるが、後述するように光軸AXと垂直な方向への移動、あるいは光軸以外の方向を軸とするような回転運動（レンズの傾斜運動）が必要となる場合もあり、各種の自由度を持って移動（回転）可能としておくことが望ましい。

【0023】尚、瞳フィルターの装填、退出、あるいは交換に伴って、各種の光学的な収差が変動するが、このうち、球面収差については特に可動保持部材18、21に保持された瞳面FTP近傍の1枚、又は複数枚のレンズ素子を移動して補償するのが効果的であり、ディストーション、非点収差、湾曲収差については特に可動保持部材15に保持されたレチクルR近傍の1枚、又は複数枚のレンズ素子を移動して補償するのが効果的である。このような、一般的な収差の変動に対する補償（補正）は、各レンズ素子を光軸方向のみに移動することで達成され得る。

【0024】光学系コントローラ24は、瞳フィルターPFの交換についても制御を行うが、各可動レンズ素子の最適移動量（回転量）は瞳フィルターPFによって

変わり得るので、瞳フィルターPFの交換に同期して各可動レンズ素子の移動位置、又は回転量が最適値となるように設定される。尚、露光に際してどのような瞳フィルターを使用するかは、コンソール（不図示）等を介して主制御系25にオペレーターが適宜入力可能である。しかしながら、適切な瞳フィルターPFの種類は、専ら転写するレチクルパターンの種類によって決まるので、使用するレチクルRの名称、コード等をバーコードリーダー29等にて読み取り、認識した名称やコードに基づいて使用する瞳フィルターPFの種類を決定し、自動的にフィルター交換してもよい。もちろんこの場合にも選択された瞳フィルターPFに応じて、各可動レンズ素子が光学系コントローラ24の制御で最適位置に移動設定されることは言うまでもない。

【0025】ところでウェハWは、光軸AXと垂直なXY面を2次元移動するウェハステージWSTのホルダー上に保持され、ウェハステージWSTの位置は、レーザー干渉計27等の測長器により正確に計測される。ウェハアライメントセンサー28は、ウェハW上に形成されているアライメントマーク（位置合わせマーク）の位置、又は位置誤差を検出し、この検出値とレーザー干渉計27の計測値とに基づいて、ステージコントローラ26は、ウェハステージWSTの駆動用のモータを制御して正確な露光位置へウェハWを位置決めする。

【0026】主制御系25は、光学系コントローラ24に対して指令を送るのみでなく、ステージコントローラ26や、シャッターコントローラ31、 σ 絞り及びレチクルブラインドコントローラ30等にも指令を送り、楕円鏡2の第2焦点近傍に配置されたシャッター3の開閉や、 σ 絞り8、レチクルブラインド11の開閉設定も行う。

【0027】図2は、瞳フィルターPF、及びその交換機構を示す平面図である。互いに異なる種類の3枚の瞳フィルターPF1、PF2、PF3は回転板41上に120°の間隔で保持され、回転板41は回転軸40を中心として回転可能となっている。図示の状態では、コンタクトホールパターンの露光に適した瞳フィルターとして、中心部の円形領域PF1aの透過光の位相を、その周囲の輪帯領域の透過光の位相に対して反転させるSuper FLEX型の瞳フィルターPF1が投影光学系PLの結像光路内の瞳面に装填されているものとする。その位相の反転のさせ方は連続的、又は段階的に行うことができる。

【0028】図3は、瞳フィルターPF、及びその交換機構を、図2中のA-A'矢視断面として示したものであり、回転板41は回転駆動部42によって回転軸40を中心に回転し、また回転駆動部42は、不図示の投影光学系銃筒に保持されている。また、エンコータ13は、回転板41の回転位置を正確に計測するために設けられており、回転板41の周縁部分上には位置合わせ用

の格子（スケール）が刻まれているものとする。

【0029】Super FLEX型の瞳フィルターPF1は、一例としてガラス、石英等の透明平板上の中心部の円形領域PF1aに透明誘電体膜を形成したものである。他の2個の瞳フィルターのうちフィルターPF2は、中心部の円形領域PF2aの透過率を周辺の透過率よりも低減したものであり、これはL&Sハターンの露光用の瞳フィルターとして使われる。このフィルターPF2は、透明平板上の中心部の円形領域PF2aに金属薄膜等の吸光部材を形成したものを使用する。尚、L&Sハターン用瞳フィルターの使用に際しては、照明光学系1～14によるレチクルRへの照明状態を、いわゆる輪帯照明系に設定した方がより好ましい。従って、図1中のσ絞り8は、輪帯照明にも対応可能としておくことが望ましい。すなわち、σ絞り8によって面光源像を輪帯状に制限するのである。そこで、σ絞り8も複数種の開口形状のものを予め用意しておき、図2のような交換機構によって適宜交換できるようにしておくことよい。

【0030】残りのフィルターPF3は、全面に渡って透過率差や位相差を与えないような均一な透明平板（いわゆる素ガラス）から成り、瞳フィルターを使用しない状態と全く等価なフィルターである。このようなフィルターPF3が必要になるのは、他の2枚の瞳フィルターPF1、PF2がいずれも光学的に厚さを有する透明板であるため、これらの瞳フィルターを使用しない状態においても、これに等しい光学的厚さを確保するような光学特性の補償、すなわち光路差を揃える操作をしなければならないからである。

【0031】同様の理由により、本実施例で使用する複数の瞳フィルターの光学的厚さは、ほぼ等しいことが望ましい。ただし、本実施例に於ては前述の光学要素移動部材により、それぞれの瞳フィルターに応じて投影光学系中の可動レンズ素子を最適位置に調整し、瞳フィルターの交換に伴う結像特性の変動（収差の増大）を最小限に押さえることができるので、複数の瞳フィルターの光学的厚さのばらつきの許容量は、レンズ素子を可動にしなかったときと比べると格段に大きくすることができ

る。

【0032】また、複数の瞳フィルター間の厚さのばらつきだけでなく、1枚の瞳フィルター内の厚さムラ、特にテーパー成分についても光学要素移動部材により補償することができるので、瞳フィルター自体の製造誤差に対する許容量を極めて緩くすることができるという効果もある。このことは、すなわち瞳フィルターの製造コストの大幅な低減が可能であることを意味している。

【0033】尚、このようなテーパー成分の補償は上述の各可動レンズ素子の光軸方向への移動のみでは不十分であるため、特定の可動レンズ素子は、可動保持部材

15、18、21等）と共に任意の方向に（任意の軸を中心として）回転可能な構造としておくことよい。こ

での回転とは、回転量としては極めてわずかな傾斜を意味し、回転機構としても、可動保持部材のチルトが可能

な構造であればよい。

【0034】可動保持部材（15、18、21等）の保持方法は、図1に示した如く、投影光学系の鏡筒から直接、支持棒（16、19、22等）を介して保持するとしてもよいが、図4に示す如く、一旦、中間鏡筒66を介してから、投影光学系の鏡筒P1.0に保持する際にしても良く、この場合には各可動レンズ素子50、51、52、53の移動に関する自由度がより増大する。その図4は、図1中の各可動保持機構の変形例を示し、2枚の可動レンズ素子50、51は内側鏡筒60に固定され、2枚の可動レンズ素子52、53は内側鏡筒61に固定される。これら2つの内側鏡筒60、61は光軸AXの方向に間隔をあけて配置され、支持部材62、63は内側鏡筒60を中間鏡筒66に対して保持し、支持部材64、65は内側鏡筒61を中間鏡筒66に対して保持する。さらに中間鏡筒66は、外側の鏡筒P1.0に対して支持部材67、68、69、70を介して保持される。

【0035】このような構成によって、4枚の可動レンズ素子50～53を一体に光軸方向に微動させるときは、支持部材67～70に結合された駆動機構（モータ、エアピストン、ピエゾ等）を作動させて中間鏡筒66を上下動させる。また、一对の可動レンズ素子50、51、あるいは52、53を単独に動かすときは、対応する内側鏡筒60、あるいは61を保持する支持部材62、63、あるいは64、65の夫々と結合した駆動機構を独立に作動させればよい。また、一对の可動レンズ素子を固定した内側鏡筒60、又は61を傾斜可能にすることもでき、さらには内側鏡筒60、61のうち少なくとも一方を光軸AXと垂直な面内で微小移動可能な構造としておくこともできる。

【0036】ところで、本発明に適用される瞳フィルターは上述の3種類に限定されるわけではなく、例えば前述の光軸近傍の円形領域を遮光するタイプの遮光型フィルターや、瞳面を透過する光束の空間的コヒーレンスを低減させるSFINCS法による瞳フィルターを使用することもできる。SFINCS型の瞳フィルターは、光軸近傍の円形領域の透過光と瞳面外周の輪帯領域の透過光との干渉性を低減することにより、コンタクトホールパターン結像時の焦点深度を向上させるフィルターである。干渉性の低減手段として、中心の円形領域とその周りの輪帯領域との各透過光束間にコヒーレント長（波長365nmで波長幅Δλが5nmの1線なら25nm程度）以上の光路差を与える方法がある。その場合、実際の瞳フィルター板としては、中心円形部と周辺輪帯部とで、厚さ又は屈折率が相対的に異なる透明基板を使用する。

【0037】あるいはまた、光軸近傍領域の透過光と、

瞳面外周領域の透過光との偏光状態を異ならせることにより干渉性を低減することもできる。この場合、実際の瞳フィルター板としては、中心円形部と周辺輪帯部とを透過する光束の直線偏光が直交するように組み合わせられた偏光板や、1/2波長板、1/4波長板等の透過光の偏光状態を異ならしめる部材を部分的に配した透明基板を使用する。

【0038】図5 (A)、(B)、(C)はSFINC S法による瞳フィルターの一例を示し、基本型は図5 (A)のように、投影光学系PL内の実効的な瞳径 r_0 よりも若干大きな半径 D_0 を有する透明円形基板とし、その中心から半径 r_1 ($r_1 < r_0$)の円形領域PFcと内径 r_1 、外径 r_2 の輪帯領域PFs₁とを有する。そして、円形領域PFcを通る結像光束と輪帯領域PFs₁を通る結像光束とが互いに干渉しないように、円形領域PFcと輪帯領域PFs₁との間の光路差(厚み差)を遮光用照明光のコヒーレント長以上に設定したり、または、円形領域PFcと輪帯領域PFs₁とを透過した各結像光束の偏光を互いに異ならせるような偏光性材料で構成したりする。この図5 (A)のようなSFINC S型瞳フィルターの場合、半径 r_0 、 r_1 の最適な関係は、 $2r_1^2 - r_0^2$ 、すなわち $0.707r_0 = r_1$ であり、このとき理論的に最大の焦点深度拡大効果が得られる。この条件は、円形領域PFcを通る光束によって作られる像に関する波面収差量と、輪帯領域PFs₁を通る光束によって作られる像に関する波面収差量とをほぼ等しくするという条件のもとで解析的に導かれる。

【0039】図5 (B)は、瞳面を3つの領域としたもので、中心の円形領域PFc (半径 r_1)と、その外周に隣接する内側輪帯領域PFs₂ (外径 r_2)と、さらにその外周に隣接する外側輪帯領域PFs₁ (半径 r_0 以上)とで構成される。この場合、最適な条件は、 $r_1^2 = (r_2^2 - r_0^2) = (r_0^2 - r_2^2)$ であり、円形領域PFcを通る結像光束と隣接した内側輪帯領域PFs₂を通る結像光束とが互いに干渉しないように構成され、内側輪帯領域PFs₂を通る結像光束と外側輪帯領域PFs₁を通る結像光束とが互いに干渉しないように構成される。ここでの条件も3つの各領域PFc、PFs₁、PFs₂の各々を通る結像光束の単位デフォーカス量に対する波面収差量をほぼ等しくするという条件のもとで一義的に求められる。

【0040】図5 (C)は、図5 (A)に示した瞳フィルターの円形領域PFcの中央に一定の半径の遮光部PDを設けたものであり、その結果、図5 (A)中の円形領域PFcは輪帯領域PFs₂に規定される。以上、図5 (A)、(B)、(C)のSFINC S瞳フィルターは、Super FLEX法のような多重焦点フィルターの原理とは異なり、投影されたコンタクトホールパターンの結像は、互いにインコヒーレントな状態に分割

された部分光束で構成される結像光束によって行われるため、像面上では各部分光束が互いに独立にホールパターン像の強度分布を作り、それらが光量的に加算(インコヒーレント加算)されたものとなる(Super FLEX法ではコヒーレント加算)。その各部分光束の尖々によって結像される像は、いずれもデフォーカス時の波面収差発生が小さくなる。すなわち、瞳の有効径 r_0 をそのまま使った従来の結像系が Δf だけデフォーカスしたときに生ずる波面収差量と同じ量だけ波面収差を発生するように、SFINC S瞳フィルターを持つ結像系をデフォーカスさせたとすると、図5 (A)のフィルターの場合は理論上、 $2 \times \Delta f$ までデフォーカス量が許容され、図5 (B)のフィルターの場合は $3 \times \Delta f$ まで許容される。

【0041】以上の実施例においては、瞳フィルターとして、すべて光学的に厚みのある透過基板をベースとしたものを用いたが、例えば遮光型フィルターについては、図5 (D)に示すように遮光性の金属板から中心の円形領域(その半径 r_2 と有効瞳径 r_0 の関係は、 $0.3r_0 \leq r_2 \leq 0.7r_0$ 程度が望ましい)を残して透過部となる部分のみを繰り抜いた遮光板としてもよい。このような遮光板については先に述べた特開平1-179958号公報に詳細に述べられている。このような遮光型瞳フィルターをコンタクトホール用を使用する場合、従来通りの「瞳フィルターを使用しない状態」とするためには、先の実施例と同様の考え方に従って、光学的に厚みのないフィルターを使用することになる。すなわち、従来の状態用の瞳フィルターとして前述のような均一な透明平板(図2のPF3)を使用するのではなく、単に瞳面FTPから図5 (D)のような遮光型瞳フィルターを取り除くだけでよい。尚、図5 (D)の金属板による遮光板では、中央の円形遮光部分PDが周辺の輪帯遮光部Pgと3本のスポーク状のリムLgによって 120° 間隔で結合されているが、これは 180° の配置で2本にしてもよい。また、図5 (D)の金属板フィルターは、必ずしも完全遮光の素材で作る必要はなく、中心円形領域に適当な透過率を持たせるような素材、又は緻密なメッシュ状にしてもよい。

【0042】ところで、収差が完全に除去された投影光学系においては、このような光学的に厚みのない金属板遮光型瞳フィルターの装填の前後で、副次的な結像特性の変動は原理的に全くない。しかしながら、実際の投影光学系では、ガラス自体の不均質性や、各レンズ面からの微小な製造誤差等により、わずかながら収差が残存しているのが現実である。もちろんこのような残存収差については、最終的な調整段階で各光学素子間の相対位置等を微調整し、レチクルRとウェハW間での結像特性上の各諸元が実用上全く問題のない程度に押さえ込まれている。ただし、その結像諸特性を維持しつつ、レチクルRのパターン面と瞳面FTPとの間、及び瞳面FTPとウ

エハWの表面との間を厳密な光学的フーリエ変換の関係に調整することは難しく、結像の諸特性を最優先に考慮する以上、光学的フーリエ変換の関係が厳密に満たされない場合もある。

【0043】そのようにフーリエ変換の関係が厳密に維持されていない投影光学系においては、金属板遮光型瞳フィルターの装填に対しても副次的な結像諸特性（特に収差）の変動が発生する恐れがある。ところが、本発明の光学要素移動部材は、このような収差変動に対しても勿論補償することができるので、全く問題はない。以上の実施例で使用する投影光学系は、無収差、又は極めて収差の少ない結像系としたが、ある種のパターンの変換に対しては、特定の収差、特に球面収差を積極的に発生させたほうが、より良い転写像を得られる場合がある。従って、本発明によって、転写するパターン（レチクル）に応じて瞳フィルターを交換し、光学要素移動部材により収差変動を補償する際には、ある種のパターンに対しては制御可能な球面収差を発生させるように、光学要素移動部材を設定しても良い。

【0044】ところで、最近の投影露光装置に於ては、投影光学系内の特定の光学素子間の空間の気圧を制御することにより、大気圧変動や露光光の一部吸収に伴う蓄熱等の外的要因によって生ずる結像特性の変動を補償する機構を備えたものが多い。このような機構を積極的に利用し、本発明の光学要素移動部材の部分的な代替をさせることもできる。

【0045】また、大気圧変動や熱蓄積による結像特性の変動を補償する装置として、投影光学系内の光学素子の一部を可動とした構成も提案されているが、このような既存の構成を用いて、本発明の光学要素移動部材の機能を実現することもできる。逆に本発明の光学要素移動部材を、外的要因による結像特性の変動の補償部材として兼用することも可能である。

【0046】図6（A）は、特開平2-1109号公報に開示されたようなフレネル状補正光学板の一例を示す平面図であり、図6（B）は図6（A）中のB-B'矢視断面を示す。このフレネル状補正光学板は投影光学系PLの瞳面FTP上に配置可能であり、結像特性のうち特に球面収差、波面収差、又は色収差を補正するために設けられる。この図6（A）、（B）に示すように、補正光学板CPBの一方の表面にはブレード格子Gbの複数が所定の半径間隔で同心円状に刻設され、他方の表面の中央にはSFINCS瞳フィルターとして作用する段差Δd（コヒーレント長以上）の中心円形領域Pfcがエッチング等により形成されている。この図6の実施例による補正光学板は、全体としてSFINCS瞳フィルターとして働くとともに、そのフィルターを瞳FTPに挿入したときに発生するであろう像収差を、その補正光学板CPBの表面のブレード格子（フレネル作用を持つ）によって自己補正する機能を持っている。このよ

うに補正光学板CPBは、SFINCS瞳フィルターの機能と、その機能のために副次的に発生する収差を自己補正する機能とを兼ね備えているため、図6のような構造の瞳フィルターを用意する場合は、投影光学系PLの瞳面FTPにその瞳フィルターを単に出し入れするだけでもよい。尚、補正光学板CPBのブレード格子のピッチや凹凸の差は、その光学板自体の光学的厚みの存在による収差発生を抑えるように決められる。また、図6の構造はSFINCS瞳フィルターに限らず、厚みのある透明基板をベースとした瞳フィルター全般に適用可能である。さらに補正光学板CPBはフレネルによるレンズ効果を有する（すなわち固有の光軸を有する）ものであるため、投影光学系PL内での位置設定（特に傾き）は比較的精密にしておく必要があり、場合によってはXY面内での精密微動機構も必要となる。この図6の実施例では、補正光学板CPBのブレード格子面が、本発明における像収差補正用の移動可能な光学要素に相当する。このため、瞳フィルター（補正光学板CPB）の挿脱、交換用の可動機構（図2中の回転板41）が、投影光学系を構成する光学素子の移動機構の機能として兼用されることになる。また、補正光学板はフレネルレンズに限らず、バイナリーオブチクスレンズを用いてもよく、そのことは先の特開平2-1109号公報に詳述されている通りである。

【0047】尚、上記実施例では投影露光装置として、レンズ系からなる投影光学系を備え、ウェハステージのステップ移動により露光を行う、いわゆるステップタイプの投影露光装置のみを想定したが、本発明は、これ以外にも、反射光学系からなる装置や、スキャン型の露光を行う装置等の、いずれのタイプの投影露光装置に対しても、そのまま、又は若干の変形を加えて適用することが可能である。

【0048】ところで本発明の各実施例では、瞳フィルターを交換（又は挿脱）したとき、投影光学系PL内の光学レンズを微動させて結像特性の劣化を補償するようにしたが、補償用の光学レンズの微動を実質的に行わなくてもよい場合もある。それは、投影光学系PLの瞳FTPに挿入すべき瞳フィルターの全て（単なる平行平板硝材も含む）を精密に同一の光学的厚みで製作しておき、投影光学系PLの光学設計（製造）、特に収差設計にあたっては、初めからその光学的厚みを有する透明板が瞳FTPに存在することを前提に、最良の特性が得られるような設計を行うのである。

【0049】このようにすると、通常露光時（単なる平行平板のフィルターを挿入）の結像収差や像歪みと、特殊露光時（SFINCS用、Super FLEX用等のフィルターを挿入）の結像収差や像歪みとをほとんど変えることがなく、高い分解能を維持した露光が得られ、ひいては高精度なIC回路パターン製造が可能となる。

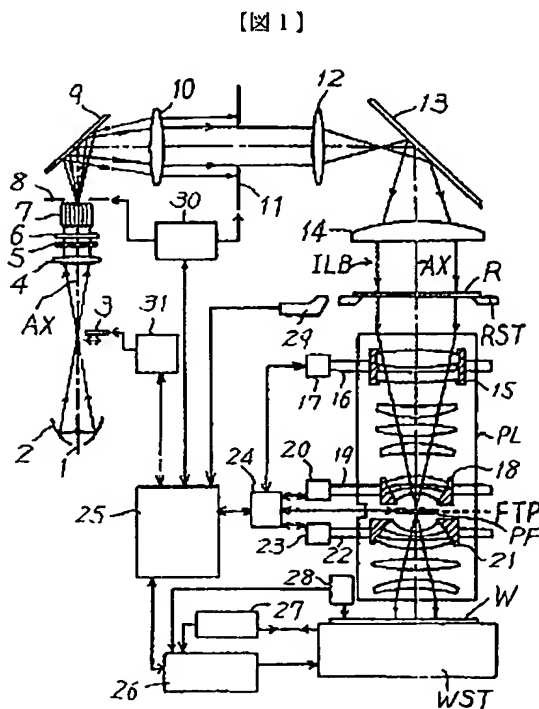
【0050】

【発明の効果】以上本発明によれば、1台の投影露光装置に対して、数種類の瞳フィルターを装填し、交換して使用することができ、また各瞳フィルターの交換に伴う副次的な結像特性の変化、特に収差の変動を光学要素移動部材により補償し、どのような瞳フィルターに対しても、常に良好な結像性能を得ることができる。この結果、1台の投影露光装置を、互いに異なる複数の種類のパターン露光（工程）に対しても最適な状態で使用することが可能となり、半導体集積回路等の生産効率をより一層高めることが可能となる。

【0051】また本発明によれば、使用する瞳フィルターに多少の製造誤差があっても、その影響も含めて結像特性（特に収差）の劣化を補償することができるので、瞳フィルターの製造コストを大幅に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例による投影露光装置の概略的な構成を示す図。



【図2】図1中の瞳フィルター、及びその交換機構を示す平面図。

【図3】図2中のA-A'矢視断面図。

【図4】図1中の可動保持機構の変形例を示す図。

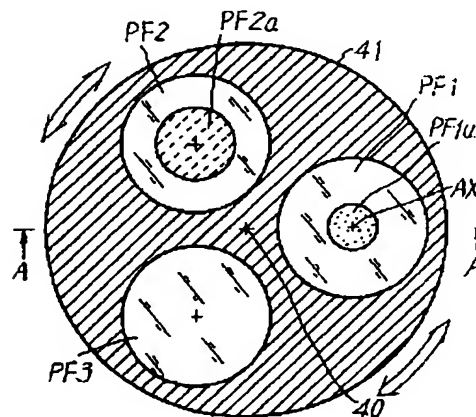
【図5】SFINC法による瞳フィルターと金属板遮光瞳フィルターの一例を示す図。

【図6】投影光学系の瞳面に配置可能なフレネル状矯正光学板の一例を示す平面図。

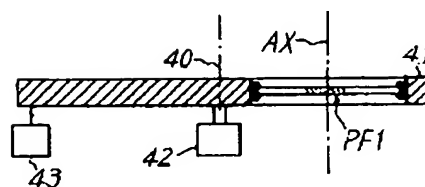
【符号の説明】

R レチクル
W ウェハ
PL 投影光学系
FTP フーリエ変換面
PF、PF1、PF2、PF3、CPB 瞳フィルター
15、18、21 可動保持部材
24 光学系コントローラ
41 瞳フィルター可動用の回転板

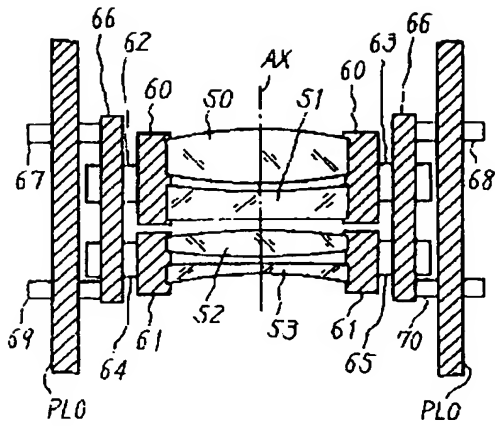
【図2】



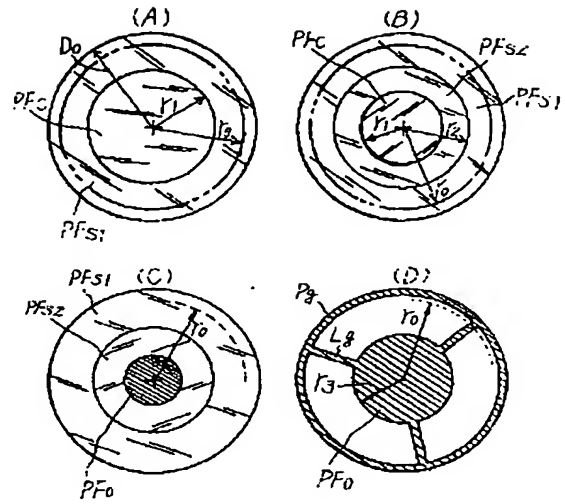
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

